

# TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

---

FAKULTA STROJNÍ

KATEDRA MATERIÁLU

Studijní program: B2341 Strojírenství

Studijní obor: 3911R018 Materiály a technologie

Zaměření: Materiálové inženýrství

## **Změna mechanických vlastností slitiny Al – Si při změně způsobu odplynění**

## **The change of mechanical characteristic Al – Si alloy during change of degassing**

Luboš Raur, DiS.

**KMT – B – 208**

Vedoucí práce: doc. Ing. Karel Daďourek, CSc.

Konzultant: Ing. Ivo Lána, Ph.D.

Počet stran: 41

Počet tabulek: 6

Počet obrázků: 19

Počet grafů: 0

Počet příloh: 0

## **Abstrakt**

Tato Bakalářská práce se zabývá stručnou historií a současností Slévárny a modelárny Nové Ransko, s.r.o. (společnosti). V teoretické části jsou uvedeny nejběžnější metody odplynění slitin hliníku, včetně dalších nezbytných postupů, používaných ve společnosti. V praktické části Bakalářské práce jsou provedeny experimenty, kterými jsou porovnány mechanické vlastnosti a struktury odlitků při použití staré a nové metody odplynění. Získané hodnoty jsou statisticky vyhodnoceny. V závislosti na provedených vyhodnoceních jsou vyvozeny závěry a doporučení pro zlepšení procesu odplynění slitin hliníku i ostatních procesů zahrnovaných pod pojem ošetření taveniny.

## **Abstract**

This bachelor's work is concerned with the history and the present of the company Slévárny a modelárny Nové Ransko, s.r.o. The most common methods of degassing aluminium – alloys including the procedures using in the company are described in the theoretical part of my work. In the practical part are made the experiments. These experiments compare the mechanical properties and the structure of the casts during using old and new degassing method. Extracted results are statistical evaluated. I deduced the conclusions and the advices to make degassing aluminium alloys and the other procedures better.

## **Klíčová slova**

Procesy odplynění, ošetření taveniny, modifikace, očkování, index hustoty, termická analýza

## **Key words**

Degassing processes, treatment of the melt, modification, inoculation, density index, thermal analysis

## **Prohlášení**

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Datum

Podpis

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu Bakalářské práce doc. Ing. Karlu Daďourkovi, CSc. za cenné rady a připomínky, dále děkuji pracovníkům společnosti Slévárna a modelárna Nové Ransko, s.r.o. za umožnění experimentů a za poskytnutí hodnot z datových souborů starého a nového procesu.

## Obsah

1.	Úvod .....	6
2.	Historie společnosti.....	7
3.	Historie hliníkových slitin.....	9
4.	Rozdělení slitin hliníku .....	10
4.1	Rozdělení siluminů .....	10
5.	Ošetření taveniny siluminu.....	12
5.1	Odplynění .....	12
5.2	Odplyňování slitin hliníku .....	13
5.2.1	Odplyňování vakuováním .....	13
5.2.2	Odplyňování probubláváním plyny.....	14
5.2.3	Odplyňování aktivními a neutrálními plyny.....	16
5.3	Očkování.....	16
5.4	Modifikace.....	17
5.4.1	Modifikace sodíkem .....	17
5.4.2	Modifikace stronciem .....	18
5.4.3	Modifikace antimonem .....	19
6.	Metody měření.....	20
6.1	Metody měření naplynění taveniny .....	20
6.1.1	Metoda první bubliny.....	20
6.1.2	Metoda dvojího vážení (měření hustoty).....	21
6.1.3	Metoda přímého měření obsahu vodíku v tavenině .....	21
6.2	Zkouška pevnosti v tahu .....	22

6.3	Zkoušky tvrdosti .....	22
6.3.1	Zkoušky tvrdosti dle Brinella .....	23
6.4	Kontrola chemického složení .....	23
7.	Slitiny hliníku používané ve společnosti.....	24
8.	Dřívější ošetření taveniny ve společnosti.....	25
8.1	Odplyňování.....	25
8.2	Modifikace.....	25
8.3	Očkování.....	26
9.	Nynější ošetření taveniny ve slévárně (společnosti) .....	27
10.	Kontrola taveniny .....	29
10.1	Měření indexu hustoty (DI).....	29
10.2	Kontrola chemického složení .....	32
10.3	Mechanické hodnoty (tvrdost, pevnost) a jejich statistické šetření..	37
11.	Závěry a doporučení.....	39
12.	Seznam použitých zdrojů a literatury .....	41

## 1. Úvod

V teoretické části bakalářské práce jsou uvedeny metody odplynění litých slitin hliníku včetně procesů následujících po odplynění. Úplné ošetření taveniny je ve slévárenské praxi nezbytnou podmínkou pro výrobu kvalitní produkce odlitků, proto jsou v teoretické části práce uvedeny i metody modifikace (změna morfologie eutektického Si) a očkování (zjemnění zrna). V praktické části práce je provedeno porovnání stávajícího způsobu odplynění taveniny se způsobem odplynění prováděným před zavedením odplyňování inertním (neutrálním) plynem. Ve společnosti Slévárna a modelárna Nové Ransko, s.r.o. (dále jen společnost) je k odplynění používán technický dusík. Před zavedením odplyňování dusíkem byly používány tablety, ze kterých se při reakci s taveninou uvolňoval především dusík.

V práci jsou navrženy experimenty, kterými jsou prokázány rozdíly ve vlastnostech podeutektických siluminů:

- Vliv kvality odplynění je vyjádřen tzv. indexem hustoty (DI).
- Kontrola mechanických vlastností byla provedena zkouškou pevnosti v tahu a tvrdosti dle Brinella. Dále byla kontrolována makrostruktura zlomových ploch tyčí pro zkoušku v tahu a metalografie z odlitků.
- Metalografie je provedena ze vzorků pro analýzu chemického složení, ze vzorků pro zjištění DI a z odlitků.

Získané datové soubory jsou vyhodnoceny statisticky v kalkulátoru excel.

V závěru jsou uvedena doporučení, kterými by mohly být úspěšně eliminovány neshody způsobené nedodržením technicky správných procesů tavení a ošetření taveniny.

## 2. Historie společnosti

První písemná dochovaná zmínka o zpracování železa na Ransku pochází již z roku 1480. V roce 1669 zde vznikla huť. Ferdinand z Ditrichštejna huť definitivně vlastnil od roku 1690. Spotřeba železa stále narůstala. Docházelo k rozvoji manufaktur. Skokový vzestup hutní a slévárenské výroby nastal v 19. století. Ditrichštejnové byli velmi pokrokoví podnikatelé. Huť a slévárna ve Starém Ransku patřila v polovině 19. století k významným kapacitám. V roce 1855 zaměstnávala 1500 pracovníků, z toho více než 300 bylo slévačů. Jako důkaz toho, že zdejší výrobky byly opravdu kvalitní, svědčí různá ocenění. Příkladem může být zlatá medaile z živnostenské výstavy v Praze z roku 1855. Bohužel ve druhé polovině 19. století se začal projevovat nedostatek dřeva na výrobu dřevěného uhlí. Vyčerpání železné rudy na Starém Ransku a používání parních strojů způsobilo další navýšení nákladů. Nebylo zde možné zavést moderní způsoby metalurgických procesů (z důvodu velkých dopravních vzdáleností nebylo možné huť modernizovat, aby pracovala s efektivnějšími minerálními palivy a koksem) a Ditrichštejnovy podniky v roce 1882 zanikly.

V roce 1885 v regionu založil firmu na výrobu stacionárních motorů Jan Pujman. Po první světové válce se ustálil název firmy: „Jan Pujman továrna hospodářských strojů a slévárna Nové Ransko“. V meziválečném období firma začala vyrábět mobilní stroje (sekačky, mlátičky a traktory). Firma byla po druhé světové válce znárodněna a stala se součástí národního podniku Agrostroj a od roku 1949 součástí Kovodělných závodů Chotěboř. Na přelomu 50. a 60. let 20. století došlo k rekonstrukci budovy na výrobu odlitků šedé slitiny, bylo zavedeno strojní formování, později výroba odlitků ze slitin hliníku a mědi. V říjnu roku 1991 vznikla společnost s ručením omezeným a v listopadu 1992, po dokončení privatizačního projektu a podpisu Kupní smlouvy, se společnost stala samostatným právním subjektem.

V současné době má společnost cca 230 zaměstnanců a roční obrat 270 mil. Kč, vyrábí kusové až středně sériové, technologicky náročné zakázky z grafitických litin, ze slitin hliníku a mědi. Export se dlouhodobě



pohybuje mezi 40 a 50 %. Provozy společnosti se průběžně modernizují, největší, ze současných investic, je nová slévárna neželezných kovů, která bude zcela elektronicky řízena.

### 3. Historie hliníkových slitin

Slitiny hliníku patří společně se slitinami železa k nejpoužívanějším kovovým konstrukčním materiálům. Jako surovina pro výrobu hliníku slouží bauxit. Ve světě se v současnosti zpracovává přibližně 130 milionů tun bauxitu, z toho asi 123 mil. tun na oxid hlinitý, který se dále hutnický zpracovává na suroviny pro tváření a odlévání. Zbytek, 7 mil. tun pro jiné účely, například výrobu žáruvzdorných materiálů a žárobetonů [1]. Množství vyrobeného hliníku neustále narůstá. Nejvíce se slitiny hliníku využívají v automobilovém průmyslu.

Nejrozšířenější metodou získávání oxidu hlinitého z bauxitu v současné době je Bayerova hydrometalurgická metoda. Další metodou je výroba hliníku elektrolytickým způsobem. [1]

Výhodou slitin hliníku je jejich nízká měrná hmotnost a poměrně dobrá pevnost. Dalšími výhodami jsou jejich dobrá odolnost proti korozi v atmosféře (pokud neobsahují měď), dobrá svařitelnost v ochranné atmosféře, dobrá elektrická a tepelná vodivost a snadné zpracování vratného odpadu ve slévárnách i hutích.

K nevýhodám patří nízká tvrdost, obtížné třískové obrábění a mechanické leštění měkkých slitin. Pokud jsou slitiny hliníku v konstrukcích v přímém kontaktu s ostatními kovy a slitinami (kromě zinku a kadmia), dochází u nich k elektrochemické korozi. [2]

## 4. Rozdělení slitin hliníku

Slitiny se dělí do dvou hlavních skupin:

- slitiny pro tváření
- slitiny pro odlitky

Dále se dělí dle hlavních přísadových prvků na siluminy (AlSi), hydronaly (AlMg) a duraly (AlCuMg). V této práci se budu dále zabývat jenom slitinami pro odlitky řady 40000 (slitiny AlSi).

Každá slitina hliníku obsahuje základní prvek, hlavní přísadový prvek, vedlejší přísadový prvek a doprovodné prvky.

Slitiny hliníku pro odlitky se používají k výrobě tvarově složitých součástí. Mechanické vlastnosti těchto odlitků nejsou tak dobré jako u výrobků tvářených a jsou velmi závislé na technologii odlévání. Lepších vlastností je dosaženo při lití do kovových forem, při tlakovém, nízkotlakém a gravitačním lití. Při lití do pískových forem vzniká hrubší struktura a hrubší povrch. Odlitky mají nižší pevnostní charakteristiky. Mechanické vlastnosti siluminů lze zvýšit tepelným zpracováním (vytvrzováním nebo také umělým stárnutím), pokud obsahují více než 0,2 % Mg.

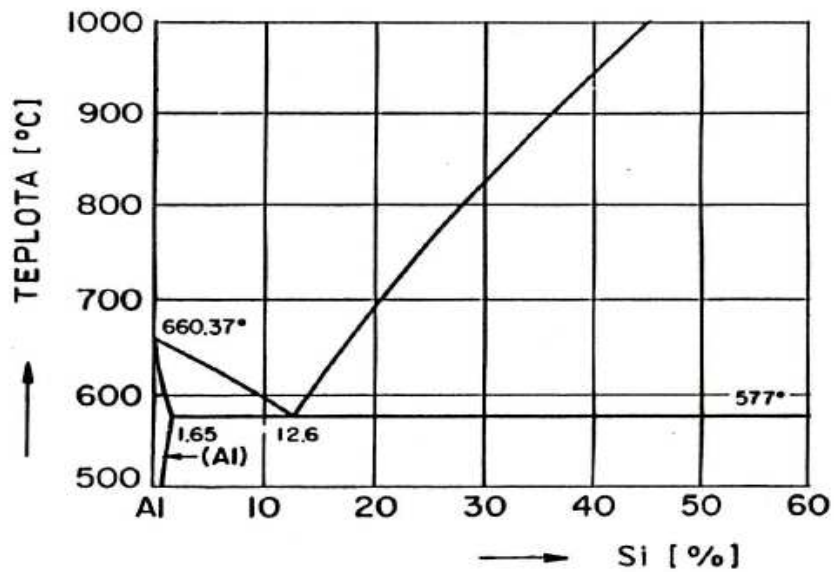
Hliník s křemíkem tvoří rovnovážný diagram eutektického typu s eutektickým bodem při obsahu Si 12,6 % a teplotě  $577 \pm 1$  °C s omezenou vzájemnou rozpustností složek v tuhém stavu.

### 4.1 Rozdělení siluminů

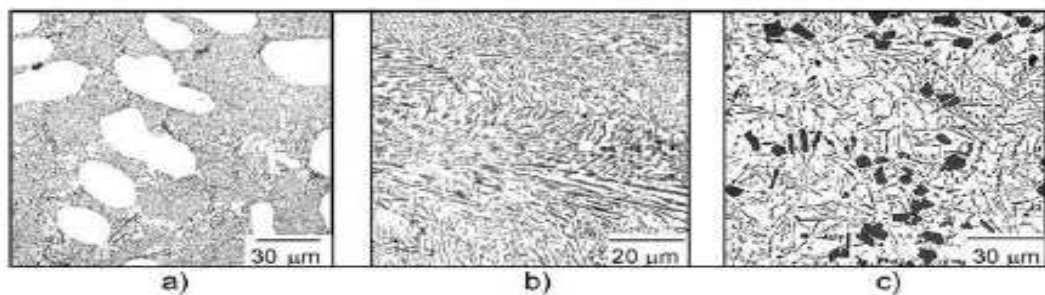
**Podeutektické** – s obsahem Si do 10% (nejobsáhlejší skupina), složeny z primárních dendritických krystalů  $\alpha$  (Al) a eutektika  $\alpha$  (Al) + Si

**Eutektické** – v oblasti eutektického složení výhradně z  $\alpha$  (Al) + Si

**Nadeutektické** – s obsahem primárních polyedrických krystalů Si a eutektického  $\alpha$  (Al) + Si (není přesně definována hranice, struktura je charakteristická obsahem  $\beta$  fáze).



Obr. 1 - Rovnovážný diagram Al – Si [3]



Obr. 2 - Mikrostruktury slitin Al – Si [4] a [6]

- a) podeutektická slitina AlSi10 – primární dendrity  $\alpha$  (Al) (světlé) + eutektikum ( $\alpha$ (Al)+Si)
- b) eutektická slitina AlSi12 – eutektikum ( $\alpha$ (Al)+Si)
- c) nadeutektická slitina AlSi18 – primární krystaly Si (tmavé) + eutektikum  $\alpha$  (Al+Si) (světelný mikroskop)

## 5. Ošetření taveniny siluminu

V současnosti jsou kladeny vysoké požadavky na cenu a kvalitu výrobku. Tavením vratného odpadu a bloků (housek) z hutí dochází vždy k výskytu nežádoucích nečistot (plynů a vměstků) v tavenině, proto je ošetřována tak, aby se nečistoty odstranily. Ošetření taveniny probíhá přímo v tavícím kelímku nebo mimo pec. Mimopecní ošetření je prováděno v transportní nebo zpracovací pánvi. V těchto případech se musí počítat s poklesem teploty. Mezi způsoby ošetření taveniny patří odplynění (rafinace), očkování a modifikace.

### 5.1 Odplynění

Odplynění taveniny spočívá v odstranění většiny nežádoucích plynných a tuhých příměsí (tzv. vměstků), které nemají být součástí předepsaného složení taveniny. Pro odstranění a zabránění vzniku vměstků se používají krycí a rafinační soli.

Slitiny jsou při tavení náchylné na pohlcování plynů z pecní atmosféry. Platí zde přímá úměrnost mezi teplotou taveniny a množstvím v ní rozpuštěných plynů, čím je tedy teplota taveniny vyšší, tím snadněji se v ní plyny rozpouštějí. U podeutektických siluminů dochází k téměř skokovému nárůstu obsahu vodíku při teplotě cca 740 °C.

Kyslík se v hliníku téměř nerozpouští, reaguje pouze s povrchem taveniny, na hladině vzniká oxid hlinitý (oxidické pleny). Při cirkulaci taveniny se oxidy rozptýlí v celém objemu taveniny, to způsobí její znečištění. Na klidné hladině vzniká plovoucí vrstva oxidu, která taveninu chrání.

Největším nebezpečím při naplynění slitin hliníku je vodík. Jeho malý poloměr atomu mu umožňuje snadnou difuzi. Velké množství vodíku v tavenině při jejím zpracování má velký vliv na vznik bublin v odlitcích.

Odstátí taveniny nemá prakticky žádný vliv na snížení obsahu plynů.

## 5.2 Odplyňování slitin hliníku

Odplyňování se řadí mezi metalurgické procesy, kterými lze docílit snížení obsahu vodíku na úroveň, kdy již nedochází k vyloučení bublin. Obsah vodíku v tavenině závisí na mnoha faktorech. Mezi hlavní faktory patří: druh tavící pece, použité suroviny (housky, vratný materiál), obsah vlhkosti v solích a vlhkost atmosféry na tavírně. Pro zamezení vzniku bublin musí být obsah vodíku snížen pod 0,2 až 0,1 cm<sup>3</sup>/100 g Al. [3]

Vyšší odplynění je požadováno při odlévání do pískových forem a odlévání silnostěnných odlitků. Nižší odplynění je používáno při lití tenkostěnných odlitků a lití do kovových forem.

### 5.2.1 Odplyňování vakuováním

Spočívá ve snižování atmosférického tlaku nad hladinou taveniny.

Podle Sievertsova zákona  $S = k \cdot \sqrt{p_{H_2}}$  (1),

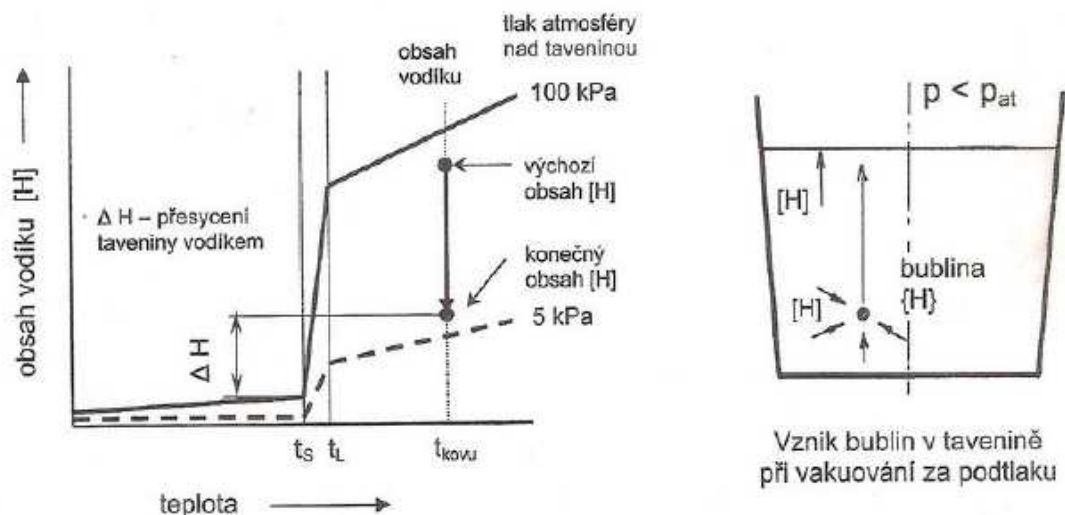
kde

S je rozpustnost vodíku v tavenině (cm<sup>3</sup>/100g),

p<sub>H<sub>2</sub></sub> je parciální tlak vodíku v okolní atmosféře (kPa),

k je konstanta.

Při snížení parciálního tlaku  $p_{H_2}$  dojde ke snížení rozpustnosti vodíku v tavenině. To znamená, že je-li maximální rozpustnost vodíku za tohoto podtlaku menší, než je jeho aktuální obsah S, je tavenina přesyceným roztokem a vodík z ní uniká v podobě drobných bublin (v molekulární podobě) [3].



Obr. 3 – Princip odplyňování za sníženého tlaku [3]

Při dosažené teplotě pro odplynění se pánev s taveninou přemísť do vakuovacího zařízení. Po uzavření se sníží tlak v komoře na hodnotu kolem 5 kPa. Tlak v komoře se snižuje na 0,05 atmosférického tlaku, při tomto tlaku se snižuje rozpustnost vodíku 4,5 krát. Tento proces trvá několik minut, za tento čas lze dosáhnout 0,08 ml  $H_2$ / 100 g Al. V provozní praxi se většinou používá odplynění inertním plynem (nejčastěji technický dusík).

Pro odplynění lze využít inertního plynu dmýchaného do taveniny. Při této metodě vodík netvoří vlastní bubliny, ale difunduje do bublin inertního plynu. Tato metoda je rychlejší a je při ní dosaženo nižších hodnot naplynění.

### 5.2.2 Odplyňování probubláváním plyny

Tento princip je způsoben difuzí vodíku do bublin s nulovým parciálním tlakem vodíku, které jej vynášejí na hladinu, popřípadě s nimi reaguje.

Vodík a vháněný plyn spolu vzájemně reagují, tento proces nazýváme odplyňování aktivními nebo inertními plyny. Jako inertní plyny pro odplyňování se používají dusík nebo argon. Tyto plyny jsou aplikovány co nejbližší dnu pánve (kelímku), aby vytvořili bubliny o co nejmenším

průměru. Rychlost vyplouvání bublin je dána rychlostí, která je definována

$$v = \frac{V \cdot (\rho_{vm} - \rho_{kovu}) \cdot g}{f} \quad (2),$$

Stokesovým zákonem

kde

$V$  je objem sedimentující částice,

$g$  je gravitační zrychlení,

$\rho_{vm}$  je hustota sedimentující částice,

$\rho_{kovu}$  je hustota tekutého kovu

$f$  je koeficient tření, za který je pro kulovité částice možno dosadit výraz (Stokesův vzorec)  $f = 6\pi\eta r$ .

Dosadíme - li za  $V$  objem koule, dostaneme výraz

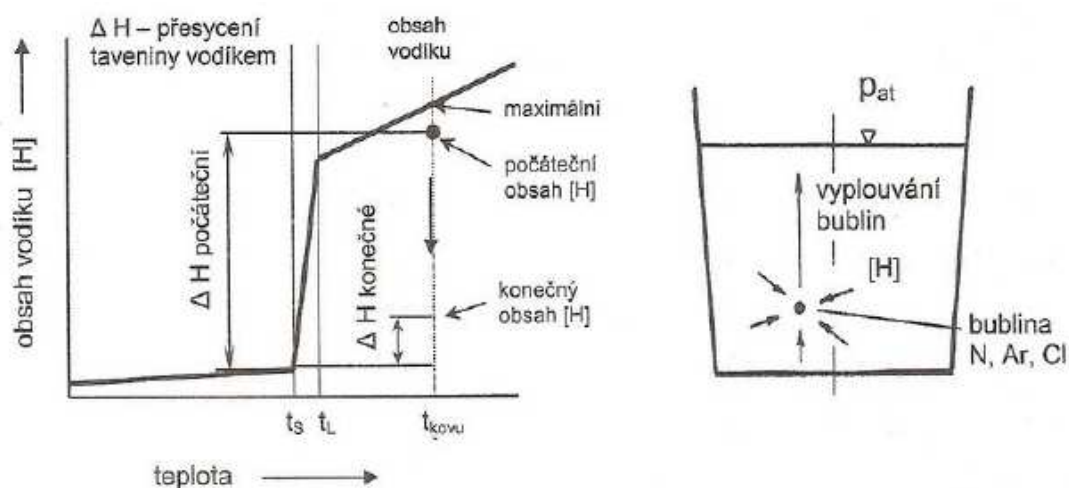
$$v = 2R^2(\rho_{vm} - \rho_{kovu})g \frac{1}{9\eta} \quad (3)$$

kde

$r$  je poloměr vměstku,

$\eta$  je viskozita taveniny a

$v$  je rychlost vyplouvajících nebo naopak sedimentujících částic dle Stokesova zákona rychlosti.



Obr. 4 – Princip odplyňování neutrálními a aktivními plyny [3]



### 5.2.3 Odplyňování aktivními a neutrálními plyny

Do taveniny můžeme dostat aktivní nebo neutrální plyn rozkladem odplyňovací soli nebo v plynné formě.

Od aktivních plynů (halogenidy - chlór, fluor) se z ekologických důvodů upustilo. Vznikaly také nepříznivé vměstky (chloridy a fluoridy), a byla nutná dlouhá doba odstátí taveniny.

Neutrální (inertní) plyny (dusík, argon) se používají téměř výhradně v praxi na tavírnách sléváren.

Rozhodující rozdíl mezi aktivními plyny a neutrálními plyny je v účinnosti a kvalitě procesu odplynění. Proces s inertními plyny je účinnější (lze dosáhnout téměř dokonalého odplynění), nezpůsobuje zhoršení pracovního prostředí tavírny, dává reprodukovatelné výsledky při zkrácení procesu ošetření taveniny o více než 40 %.

Soli ve formě prášku, granulátu nebo tablet jsou ponořeny na dno kelímku, na dně jsou přidržovány speciálním ponorným zvonem. Soli jsou voleny dle druhu slitiny.

Plyny se aplikují do taveniny odplyňovací trubicí (grafitová, keramická, kovová) opatřenou děrovanou zátkou. Trubice je ponořena na dno kelímku (dlouhá dráha bubliny). Přes děrovanou zátku se tvoří bubliny o malém průměru (účinnější).

V dnešní době jsou velmi často využívána rotorová zařízení FDU (Foundry Degassing Unit). Plyn je vháněn do taveniny grafitovým rotorem.

## 5.3 Očkování

Očkováním dosáhneme změny velikosti (zjemnění) primárního zrna. Očkování je prováděno titanem nebo kombinací titan - bor. Tato očkovadla se do taveniny přidávají ve formě solí, tablet nebo předslitiny. Slitiny pro očkování se dodávají ve formě tyček definovaných rozměrů a hmotnosti. Očkování probíhá přidáním předslitiny přímo do taveniny. Při použití rotorových zařízení se používá drobný granulát, který je aplikován

ze zásobníku (umístěném na rotorovém zařízení) přímo do taveniny. Soli a tablety se aplikují pod hladinu taveniny (zvon). Při všech případech očkování je třeba po tomto úkonu taveninu promíchat. Očkováním dosáhneme zlepšení mechanických i technologických vlastností.

## **5.4 Modifikace**

Modifikací se mění morfologie (stavba) eutektického křemíku z jehlicovité (deskovité) na zrnitou. Modifikace se provádí především sodíkem a stronciem. V malé míře se používá k modifikaci antimon.

Modifikací se dosáhne zlepšení mechanických vlastností a obrobitelnosti slitin. Plastické vlastnosti, tažnost a houževnatost, se modifikací zvyšují výrazněji. U modifikované slitiny s nižším obsahem křemíku lze dosáhnout hodnotu tažnosti až 8 %, u nemodifikované pouze do 2,5 % (ústní sdělení vedoucího technického úseku společnosti).

### **5.4.1 Modifikace sodíkem**

Sodík má nejsilnější modifikační účinek, je spolehlivý i při pomalém ochlazování. Plně modifikovaná struktura obsahuje 50 až 100 ppm sodíku. Zvýšený obsah sodíku může způsobit zhoršení zabíhavosti tekutého kovu. Při modifikaci kovovým sodíkem je jeho využití velmi malé kolem 10 – 20 % z přidaného množství, proto se v technické praxi téměř nepoužívá. Zvyšováním modifikační teploty se snižuje využití sodíku. Nevýhodou sodíku je jeho reaktivnost a vysoká afinita ke kyslíku, dále jeho intenzivní reakce s vodou a jinou vlhkostí. Teplota tavení sodíku je 98 °C (sodík ve formě kovu je udržován v petrolejové lázni).

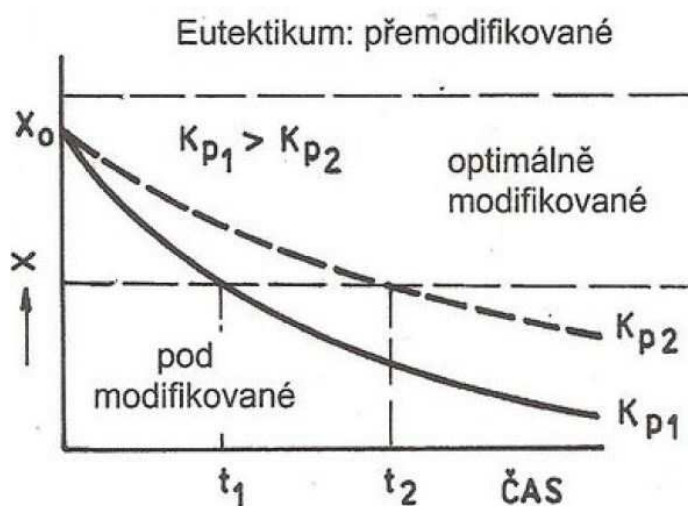
Sodík pro modifikaci se dodává jako sůl v podobě modifikačních tablet, granulátu, prášku nebo jako kovový sodík v ochranném pouzdře.

U modifikačních solí je využito exotermického efektu, který je zapříčiněn hořčíkovými třískami nebo hořením hliníkové krupičky s oxidovadlem. Soli jsou složeny ze směsi chloridů a fluoridů.

Sodík v kovové podobě se téměř výhradně dodává, jak bylo uvedeno, v ochranném pouzdře (ve vakuovaných patronách). Pouzdrem je tenký hliníkový obal, který se rychle roztaví a nezanáší žádný cizí prvek do taveniny.

### Odezňování účinku modifikace

Postupné odeznívání modifikačního účinku je způsobeno vypařováním z hladiny udržovaného tekutého kovu. Během tohoto procesu se slitina vrací do stavu před modifikací. Rychlost odeznívání modifikace je závislá na mnoha faktorech: zejména na teplotě taveniny, povrchu hladiny a pohybu taveniny. Účinek modifikace je nutné minimálně po třiceti minutách kontrolovat. Pro zabránění odeznívacího účinku modifikace se používají plovoucí tablety.



Obr. 5 - Odezňování modifikačního účinku ( $X$  - obsah modifikačního prvku) [3]

### 5.4.2 Modifikace stronciem

Stroncium je méně reaktivní než sodík, patří mezi lehké kovy. Jeho teplota tavení je  $770\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Stroncium se dodává jako předslitina s hliníkem o obsahu stroncia 3,5 – 10 %. Modifikace je zapříčiněna rozpouštěním předslitiny v tavenině. Rychlost rozpouštění předslitiny je závislá na teplotě taveniny, čím vyšší teplota, tím rychleji se rozpouští a modifikuje taveninu. Účinek stroncia oproti sodíku je vždy slabší (dávkuje se až o řád více), ale

jeho využití je až 90%. Změna struktury po modifikaci nabíhá pomaleji, dochází k pozvolnému náběhu modifikace.

Modifikace stronciem se používá především při odlévání tenkostěnných odlitků nebo při lití do kovových forem, protože je nutná vysoká rychlost tuhnutí odlitku ve formě.

### **Odezňování účinku modifikace**

U modifikace stronciem je zanedbatelná ztráta vypařováním, ale ke ztrátám dochází hlavně oxidací. Rychlost odezňování účinku je velmi pozvolná, modifikační účinek odezňuje až po několika hodinách (3 – 6), někdy se nazývá také jako polotrvalá modifikace. Modifikaci lze narušit použitím chlóru nebo fluoru.

### **5.4.3 Modifikace antimonem**

S označením „modifikace antimonem“ se více setkáváme v literárních publikacích. Modifikace antimonem není stejná jako u sodíku nebo stroncia. V tomto případě vzniká pouze struktura s jemným lamelárním křemíkem. Antimon je obsažený už v houskách dodávaných z hutí (0,1 – 0,3%). Modifikace antimonem je trvalá, ale ruší účinek sodíku a stroncia. Proto se doporučuje nepoužívat současně slitiny modifikované antimonem a sodíkem (stronciem). V našich slévárnách se materiál s antimonem prakticky nepoužívá [3].

## **6. Metody měření**

Využívají se metody měření pro zjišťování stavu naplynělosti, v provozní praxi je nejběžnějším postupem zjišťování indexu hustoty (DI = dichte Index). Dále lze nepřímo zjišťovat kvalitu odplynění zkoušením pevnosti v tahu a tvrdosti, nejčastěji dle Brinella. Nejběžnějšími vizuálními metodami kontroly jsou prověřování makrostruktury lomových ploch tyčí po zkoušce v tahu a metalografie z nalitých vzorků provozních zkoušek.

### **6.1 Metody měření naplynění taveniny**

Obsah vodíku se musí zjišťovat v přijatelném čase a dostatečně přesně. V provozu je důležitější rychlost měření než vysoce přesný výsledek. Po změření výsledku se dále rozhoduje o uvolnění tavby, popřípadě o dalším odplynění.

Tato měření dělíme na měření v laboratorních a provozních podmínkách.

Laboratorní metoda funguje na principu vakuové extrakce vodíku. Vzorky jsou speciálně připravovány.

V provozu se měří naplynění pouze orientačně, hodnocení stupně naplynění je převážně kvalitativní.

#### **6.1.1 Metoda první bubliny**

Tavenina nalitá do kelímku se umístí do zkušebního zařízení. V prostoru umístění kelímku je vzduch odsán vakuovou pumpou. Obsluha sleduje vytvoření první bubliny na hladině kovu. Po vytvoření zapíše aktuální tlak a teplotu. Dle dané rovnice se určí naplynění.

U přístroje s vyhříváním místa uložení kelímku je teplota udržována tak, aby nedocházelo k tuhnutí taveniny. Při této metodě je měřen pouze tlak, při kterém vznikne bublina. Zde se pro výpočet naplynělosti využívá Sievertsova zákona (1).

U obou případů je nízká reprodukovatelnost a záleží na objektivnosti obsluhy, proto je tato metoda využívána jenom zřídka.

### 6.1.2 Metoda dvojího vážení (měření hustoty)

Nejčastěji je využívána metoda dvojího vážení. Základem této metody je porovnání hustoty dvou vzorků. První vzorek tuhne při atmosférickém tlaku a druhý vzorek tuhne za sníženého tlaku. I zde je využit Sievertsův zákon, kde platí, že při tuhnutí za atmosférického tlaku se vyloučí méně vodíku než za sníženého tlaku. Uzavřením bublin v kovu se sníží i jeho hustota.

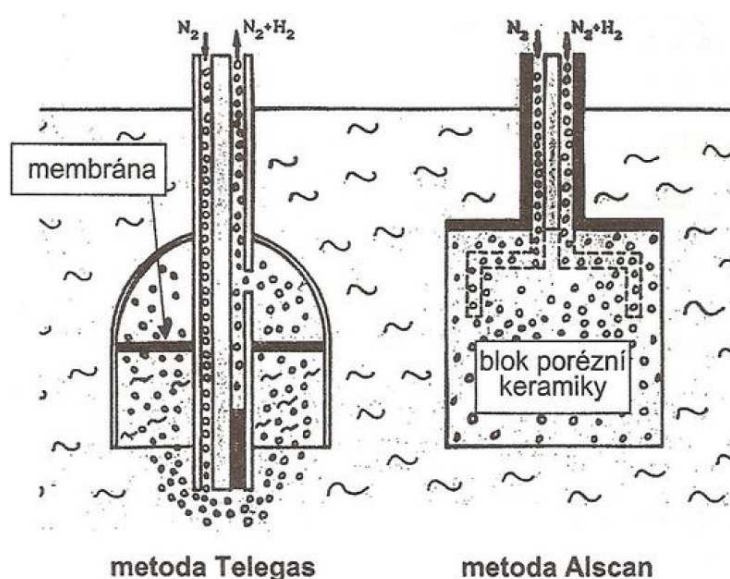
Tato metoda je poměrně přesnou a také nejčastěji používanou ve slévárnách. Nové přístroje, využívající tuto metodu, vyžadují zvážení vzorku na vzduchu a ve vodě, poté automaticky zobrazí hodnotu DI.

### 6.1.3 Metoda přímého měření obsahu vodíku v tavenině

Do tohoto souboru metod se zařazují hlavně tyto tři metody - Telegas, Alscan, Chapel [3].

U metody Telegas probíhá cirkulace malého objemu dusíku přes taveninu.

U metody Alscan se dusík vhání do keramicky prodyšné sondy.



Obr. 6 – Měření obsahu vodíku metodou Telegas a Alscan [3]

Tyto dvě metody jsou diskontinuelní a jejich provedení trvá 10 – 15 minut, sondy mají jenom omezenou životnost (několik měření), proto jsou tyto metody velmi nákladné.

Metoda Chapel pracuje na principu přímého měření parciálního tlaku vodíku.

Tyto metody zjišťují skutečný obsah rozpuštěného vodíku v tavenině. Při těchto metodách nedochází k ovlivnění měření vlivem vměstků. Patří mezi velmi přesné metody. Využívají se pro kontinuální měření v hutích nebo ve větších slévárnách.

## **6.2 Zkouška pevnosti v tahu**

Provádí se na univerzálních zkušebních strojích, nyní již převážně s digitálním výstupem. Zkušební vzorky jsou tyčky normalizovaných průměrů a délky. Z diagramu zkoušky pevnosti v tahu lze vyčíst – mez pevnosti v tahu  $R_m$  [MPa], mez kluzu v tahu  $R_e$  [MPa] nebo  $R_{p0,2}$  [MPa], tažnost  $A$  [%], kontrakce  $Z$  [%].

## **6.3 Zkoušky tvrdosti**

Zkoušky tvrdosti patří mezi rychlé a levné metody. Jsou známy empirické vztahy, podle nichž můžeme odhadnout další mechanické vlastnosti materiálu. Tvrdost je definována jako odolnost materiálu proti vniknutí cizího tělesa. Metody zkoušek tvrdosti se dělí na statické (těleso je vtlačováno do materiálu klidnou silou) a dynamické (těleso vniká do povrchu kolmým rázem – zkoušky rázové). Statické metody se dále dělí na vrypové (Martensova metoda) a vnikací (Brinell, Rockwell a Vickers).

### 6.3.1 Zkoušky tvrdosti dle Brinella

Brinellova zkouška je založena na vtlačování kuličky (ocel, slinuté karbidy) do zkoušeného povrchu. Vtlačovaná kulička má obvykle průměr 10; 5; 2,5; 2 a 1 mm. Metoda je vhodná pro měkké a středně tvrdé materiály. Kulička je do materiálu vtlačována známou silou  $F$ , která má za následek vtisk  $S$ . Tvrdost HB (dle Brinella) je dána poměrem síly  $F$  ku ploše vtisku kuličky  $S$ .

$$HB = \frac{F}{S} \quad (4)$$

### 6.4 Kontrola chemického složení

Kontrola chemického složení je nezbytná operace, která se provádí při každém dokončení tavby. Chemické složení má být známo ještě před započítím ošetření taveniny, aby v případě neshody v chemickém složení odlitého vzorku mohla být tavenina dolegována. Po případném dolegování musí být provedena nová kontrola chemického složení. Analýza chemického složení se provádí na spektrálních nebo rentgenových analyzátoch. Tyto analyzátory musí být schopny určit rozhodující prvky, které mohou ovlivnit kvalitu slitiny.



## 7. Slitiny hliníku používané ve společnosti

Ve společnosti se používají hlavně tyto 4 slitiny hliníku:

ČSN 424330 (AlSi12Mn)

ČSN 424331 (AlSi10Mg)

ČSN 424339 (AlSi8Cu3Mn)

ČSN 4243324 (AlSi7Mg0,3)

Všechny provedené pokusy (porovnání) jsem prováděl na slitině ČSN 424331 (AlSi10Mg).

Charakteristiky	Odlévání	Tepelné zpracování	Použití
Tato slitina je mírně podeutektická, s nízkým obsahem doprovodných prvků a nečistot. Materiál má výborné slévárenské a technologické vlastnosti. Také vyniká velmi dobrou obrobiteľnosť a odolnosť proti korozi.	Materiál je vhodný pro všechny druhy odlévání. Při tuhnutí netvoří vnitřní staženiny.	Používá se ve stavu vytvrzeném – T6, rozpouštěcí žíhání 510 °C – 525 °C 3 - 6 hodin ochlazení ve vodě/ precipitační žíhání 150 °C – 175 °C 5 - 15 hodin	Tenkostěnné, tvarově složité odlitky. Náročné na pevnost a houževnatost. Strojní součásti, které jsou velmi namáhané. Díly motorů, klikové skříně, rychloběžné součástky (pro ventilátory)

Tab. 1 - Charakteristika materiálu AlSi10Mg [3]



Obr. 7 – Housky předslitiny AlSi10Mg

## 8. Dřívější ošetření taveniny ve společnosti

### 8.1 Odplyňování

Odplyňování bylo prováděno tabletami (například ECOSAL – Al 320), které postupně uvolňovaly dusík do taveniny. Tablety byly do taveniny ponořovány pomocí děrovaného zvonu, kterým byly přidržovány u dna kelímku.

Pro účinné odplynění musí být splněny podmínky:

- malá velikost bublin,
- dlouhá dráha (bubliny tvořeny u dna),
- dobré promíchávání taveniny.

Tyto podmínky jsou při použití tablet obtížně splnitelné, proto jsou vhodnější rotorová zařízení, která splňují požadavek dobrého rozptýlení jemných bublin.



Obr. 8 - Modifikační tableta (vlevo) a odplyňovací tableta (vpravo)

### 8.2 Modifikace

Pro modifikaci se používal sodík v exotermických tabletách (například: SIMODAL 97, výrobce FOSECO). Tablety byly vysušovány a před vhozením do pece ohřívány na okraji víka tavící pece. Těmito kroky bylo zamezeno možnému vniknutí vlhkosti s tabletou do taveniny.

### 8.3 Očkování

Očkování bylo prováděno předslitinou (AlTi5B1) ve formě tyček. Množství předslitiny, která byla přidávána do taveniny, bylo závislé na obsahu křemíku (se zvyšujícím se obsahem křemíku se zvyšovalo množství přidávané předslitiny). Předslitiny měly téměř okamžitý účinek. U některých slitin docházelo ke zhoršení zjemňujícího účinku po uplynutí cca 30 minut. Očkování se provádělo při teplotě o 30 až 40 °C nad teplotou lití použité slitiny.



Obr. 9 – Předslitina AlTi5B1, TiB3

## 9. Nynější ošetření taveniny ve slévárně (společnosti)

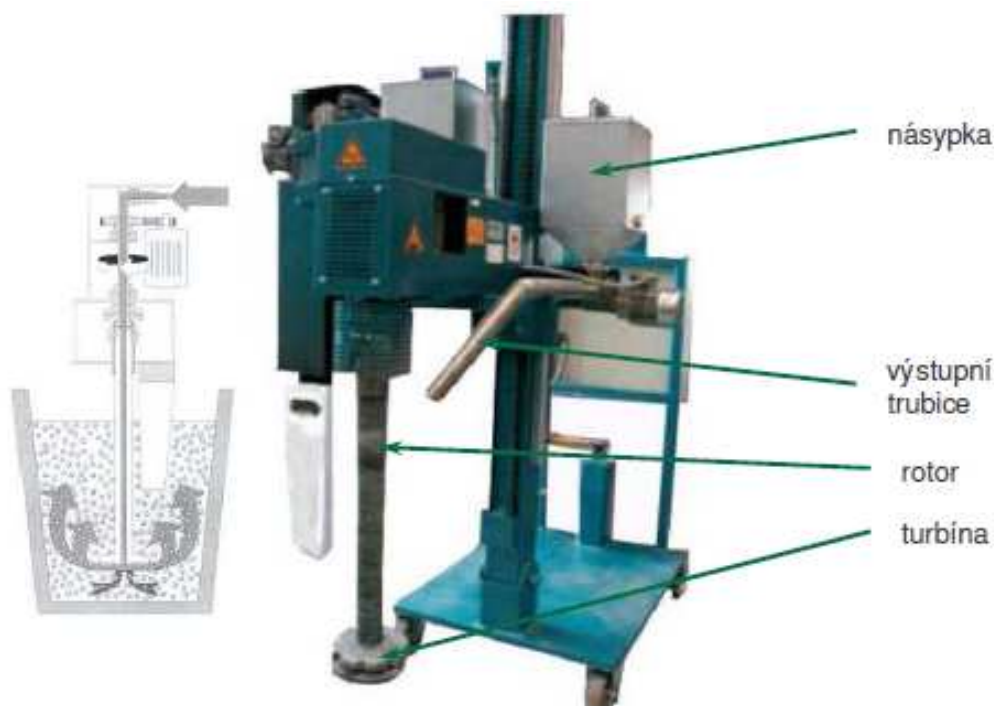
Pro komplexní ošetření taveniny se nyní používá rotorové odplyňovací zařízení FDU (Foundry Degassing Unit). Toto zařízení provádí všechny operace (odplynění, modifikaci a očkování).

Při odplyňování dochází k ponořování rotoru s turbínkou těsně na dno kelímku, aby byl rozptýl bublinek dusíku co nejlepší.

Modifikátor (granulát obsahující Na) je dodáván z násypky č.1 šnekovým dopravníkem do výstupní trubice a na rotující hladinu taveniny.

Očkovadlo (granulát obsahující Ti a B) je dodáván z násypky č.2 šnekovým dopravníkem do výstupní trubice a na rotující hladinu taveniny.

Všechny tyto operace jsou řízeny podle nastavení programu. Program je nastaven podle velikosti kelímku (hmotnosti taveniny) a druhu slitiny. Programem je stanovena doba odplynění, množství dodávaného modifikátoru a očkovadla.



Obr. 10 – Mobilní FDU pro ošetření taveniny [5]



Obr. 11 – FDU zařízení pro ošetření taveniny (vlevo – starý provoz, vpravo – nový provoz)

## 10. Kontrola taveniny

### 10.1 Měření indexu hustoty (DI)

Dříve probíhalo určování indexu hustoty (DI) porovnávacím způsobem dle daných etalonů (viz obr. 13). Vzorky byly připraveny (odlity do ocelového kelímku) na zařízení (viz obr. 12a), které vytváří pod „zvonem“ podtlak (80 mbar), kde tuhne první vzorek. Druhý vzorek tuhne za atmosférického tlaku. Po ztuhnutí (4 min) byly vzorky přeneseny do laboratoře. V laboratoři byly oba vzorky rozříznuty, vybroušeny a poté byla podle makrostruktury určena přibližně hodnota DI. Tato metoda byla zatížena významnou subjektivní chybou.

Nynější určování DI je prováděno metodou dvojího vážení. Vzorek je připravován obdobně jako u starého způsobu, ale s použitím nového zařízení (viz obr. 12b). Pro určování DI jsou nyní používány váhy obr. 14, které pracují na principu dvojího vážení. Nejdříve se zváží vzorek, který tuhl za sníženého tlaku (vzduch – voda), a poté vzorek, který tuhl za atmosférického tlaku. Hodnota DI je zobrazena přímo na přístroji.



Obr. 12 – Zařízení pro tvorbu vzorků k určení DI - a) vlevo – staré zařízení, b) vpravo – nové zařízení 3-VT-LC





Obr. 13 – Porovnávací etalony (vlevo – špatný, uprostřed – hraniční, vpravo – dobrý)



Obr. 14 – Váhy MK2200-LC pro metodu dvojího vážení (vlevo – vážení na vzduchu, vpravo – vážení ve vodě)

Porovnání hodnot indexu hustoty při použití starého a nového způsobu ošetření taveniny.

Tab. 2 – Hodnota indexu hustoty (DI)

INDEX HUSTOTY			
2009		2013	
vzorek	DI	vzorek	DI
1	4,50	1	1,14
2	4,30	2	1,50
3	9,58	3	1,52
4	2,25	4	1,13
5	2,83	5	0,38
6	1,14	6	0,76
7	8,05	7	1,89
8	6,06	8	1,52
9	9,26	9	1,14
10	9,85	10	1,51
11	0,40	11	1,53
12	1,51	12	1,89
13	5,92	13	0,76
14	6,12	14	1,43
15	6,43	15	1,15
16	7,10	16	1,89
17	6,43	17	0,86
18	4,52	18	1,52
19	3,86	19	1,14
20	5,14	20	0,77
		21	0,38
		22	1,92
		23	1,62
		24	0,83
<b>průměr</b>	<b>5,26</b>	<b>průměr</b>	<b>1,26</b>
<b>medián</b>	<b>5,53</b>	<b>medián</b>	<b>1,29</b>
<b>max</b>	<b>9,85</b>	<b>max</b>	<b>1,92</b>
<b>min</b>	<b>0,40</b>	<b>min</b>	<b>0,38</b>
<b>modus</b>	<b>6,43</b>	<b>modus</b>	<b>1,14</b>
<b>sm. odch.</b>	<b>2,6935</b>	<b>sm. odch.</b>	<b>0,4512</b>



Ze statistických šetření indexu hustoty ve srovnatelných obdobích roku 2009 a 2013 vyplývá, že:

- průměr je vyšší (o 4%) v roce 2009,
- medián je rovněž vyšší (o 4,24%),
- maximum je dokonce významně vyšší (téměř o 8%),
- minimum je překvapivě téměř shodné,
- modus je rovněž vyšší v roce 2009 (o 5,29%),
- směrodatná odchylka se snížila o 2,24%, což je ve srovnání s rokem 2009 výrazně lepší.

Všechny hodnoty statistického šetření dokazují, že v roce 2009, tedy při použití tablet na odplynění, jsou hodnoty DI významně horší (především jejich rozptyl). Tato okolnost je dána především tím, že došlo ke změně způsobu ošetření taveniny. A nároky odběratelů nebyly tak přísné, jako je tomu v současnosti.

## **10.2 Kontrola chemického složení**

Soubor hodnot, který byl získán v 17. týdnu 2013, byl porovnán se stejným obdobím roku 2009. Stejně období je důležité z toho důvodu, že na hodnotu indexu hustoty má vliv vlhkost prostředí tavírny. Předpokladem bylo, že vlhkost prostředí byla ve stejném období (roku 2009 i 2013) přibližně stejná. Vlhkost prostředí není bohužel na tavírně společností zjišťována. Teplota prostředí byla v obou případech mezi 18 – 25°C.

Ošetření taveniny spočívá jednak v odplynění a jednak v provedení modifikace a očkování. Pro zjištění kvality modifikace lze v současnosti využít pouze metalografické výbrusy ze vzorků (např. obr. 15, obr. 16) nebo z odlitků.

Metalografická šetření jsou však zdlouhavá. Uvolňování tavby po metalografických šetření je v praxi nemožné.

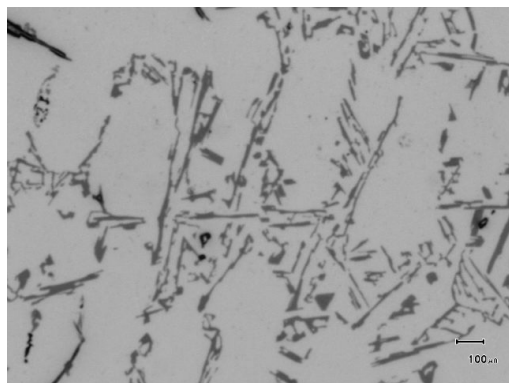


Obr. 15 – Odlitek vzorku pro stanovení chemického složení spektrální analýzou v ocelové kokile

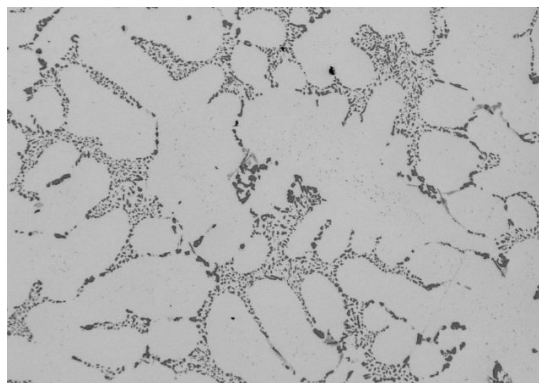


Obr. 16 – Vzorek pro stanovení DI

Na následujících obrázcích č. 17 (licí struktura) a č. 18 (ošetřená struktura) jsou metalografické výbrusy z odlitků.



Obr. 17 – Licí struktura (zv. 500x)



Obr. 18 – Ošetřená struktura (zv. 500x)

Rozdíl mezi licí a ošetřenou strukturou je zcela zjevný. Základní kovová hmota ( $\alpha$  tvořena dendrity Al je obklopena Si eutektikem). Na obr. 17 je Si vyloučen v podobě jehlic, na obr. 18 v podobě drobných zrn. Velikost dendritů ukazuje i na kvalitu provedení očkování, dendrity jsou drobnější.

Tab. 3 - Chemické složení 2009

CHEMICKÉ SLOŽENÍ 2009									
VZOREK	Si %	Mn %	Mg %	Cu %	Fe %	Zn %	Cr %	Al %	Ni %
1	9,34	0,1560	0,3120	0,0233	0,2350	0,0240	0,0095	89,70	0,0056
2	9,60	0,1700	0,2930	0,0367	0,3000	0,0345	0,0102	89,30	0,0263
3	6,94	0,0406	0,3330	0,0073	0,1450	0,0000	0,0012	92,30	0,0076
4	12,30	0,1450	0,0459	0,0291	0,2530	0,0352	0,0079	87,10	0,0245
5	9,54	0,1560	0,3260	0,0231	0,2650	0,0194	0,0181	89,50	0,0077
6	9,66	0,1860	0,3270	0,0190	0,2840	0,0080	0,0223	89,10	0,0038
7	11,60	0,1690	0,2780	0,0386	0,2900	0,0311	0,0060	87,50	0,0259
8	12,50	0,1540	0,0350	0,0259	0,2350	0,0339	0,0067	86,90	0,0263
9	9,19	0,1440	0,2530	0,0851	0,2920	0,0372	0,0092	89,80	0,0238
10	9,39	0,1850	0,2740	0,0189	0,2610	0,0078	0,0171	89,50	0,0043
11	10,00	0,1570	0,2770	0,0144	0,2490	0,0168	0,0052	89,10	0,0225
12	9,44	0,1900	0,2880	0,0189	0,2540	0,0082	0,0172	89,40	0,0037
13	9,61	0,1700	0,3050	0,0190	0,2610	0,0107	0,0175	89,40	0,0034
14	12,80	0,1630	0,1870	0,0270	0,2930	0,0698	0,0092	86,20	0,0335
15	9,57	0,1610	0,2720	0,0263	0,2900	0,0196	0,0175	89,30	0,0029
16	9,92	0,2220	0,3310	0,0007	0,1960	0,0133	0,0009	89,10	0,0018
17	10,70	0,1410	0,2270	0,0332	0,3230	0,0406	0,0064	88,00	0,0294
18	10,00	0,1640	0,3340	0,0222	0,3600	0,0305	0,0184	88,60	0,0241
19	9,70	0,2470	0,3390	0,0000	0,1940	0,0144	0,0005	89,30	0,0271
20	9,48	0,2200	0,3930	0,0037	0,1970	0,0096	0,0009	89,60	0,0240
<b>průměr</b>	10,06	0,17	0,27	0,02	0,26	0,02	0,01	88,94	0,02
<b>Směr. odchylka</b>	1,31682	0,03982	0,08845	0,01767	0,04856	0,01579	0,00672	1,27839	0,01104

Tab. 4 – Chemické složení 2013

CHEMICKÉ SLOŽENÍ 2013									
VZOREK	Si %	Mn %	Mg %	Cu %	Fe %	Zn %	Cr %	Al %	Ni %
1	11,00	0,196	0,287	0,0086	0,287	0,0573	0,0031	87,70	0,0083
2	11,40	0,179	0,298	0,0163	0,213	0,0718	0,0037	87,70	0,0068
3	11,30	0,171	0,309	0,0128	0,240	0,0764	0,0038	87,70	0,0072
4	10,70	0,245	0,269	0,0262	0,277	0,0340	0,0034	88,40	0,0101
5	10,60	0,218	0,327	0,0055	0,207	0,0301	0,0027	88,40	0,0087
6	10,20	0,216	0,403	0,0195	0,303	0,0483	0,0026	88,60	0,0053
7	10,40	0,228	0,296	0,0143	0,335	0,0404	0,0030	88,60	0,0087
8	10,40	0,216	0,390	0,0057	0,175	0,0324	0,0022	88,70	0,0105
9	10,00	0,154	0,310	0,0062	0,193	0,0260	0,0022	89,20	0,0094
10	10,40	0,154	0,314	0,0235	0,285	0,0394	0,0035	88,70	0,0107
11	10,30	0,205	0,355	0,0215	0,293	0,0484	0,0055	88,60	0,0073
12	10,40	0,203	0,285	0,0067	0,266	0,0283	0,0031	88,70	0,0077
13	10,40	0,231	0,310	0,0057	0,351	0,0163	0,0128	88,60	0,0027
14	9,97	0,252	0,368	0,0221	0,339	0,0410	0,0100	89,00	0,0020
15	9,93	0,196	0,310	0,0063	0,379	0,0345	0,0096	89,10	0,0043
16	9,93	0,192	0,250	0,0137	0,415	0,0197	0,0101	89,10	0,0040
17	10,30	0,168	0,336	0,0184	0,248	0,0245	0,0080	88,80	0,0085
18	10,50	0,250	0,288	0,0132	0,286	0,0152	0,0129	88,40	0,0116
19	10,60	0,207	0,288	0,0270	0,325	0,0301	0,0078	88,50	0,0054
20	10,20	0,226	0,275	0,0174	0,328	0,0177	0,0088	88,90	0,0045
21	9,64	0,153	0,350	0,0000	0,165	0,0000	0,0020	89,50	0,0096
22	10,80	0,130	0,339	0,0143	0,255	0,0942	0,0117	88,30	0,0022
23	10,40	0,177	0,324	0,0116	0,281	0,0460	0,0077	88,70	0,0014
24	10,20	0,229	0,239	0,0328	0,330	0,0489	0,0179	88,70	0,0168
<b>průměr</b>	10,42	0,20	0,31	0,01	0,28	0,04	0,01	88,61	0,01
<b>Směr. odchylka</b>	<b>0,40869</b>	<b>0,03271</b>	<b>0,03969</b>	<b>0,00806</b>	<b>0,06197</b>	<b>0,02076</b>	<b>0,00428</b>	<b>0,44056</b>	<b>0,00354</b>

Následující tabulka č. 5 vznikla porovnáním průměrů a směrodatných odchylek z tabulek 3 a 4.

Tab. 5 – Porovnání průměrů složení a směrodatných odchylek mezi souborem 2009 a 2013

rok		Si %	Mn %	Mg %	Cu %	Fe %	Zn %	Cr %	Al %	Ni %
průměr hodnot	2009	10,06	0,17	0,27	0,02	0,26	0,02	0,01	88,94	0,02
	2013	10,42	0,20	0,31	0,01	0,28	0,04	0,01	88,61	0,01
Směr. odchylka	2009	1,3168	0,0398	0,0884	0,0177	0,0486	0,0158	0,0067	1,2784	0,0110
	2013	0,4087	0,0327	0,0397	0,0081	0,0620	0,0208	0,0043	0,4406	0,0035
Složení dle EN		9,0 - 11,0	0,45	0,20 - 0,45	0,05	0,55	0,1			0,5

Z tabulky 5 vyplývá, že v obou letech odpovídalo složení slitiny přesně normě. V roce 2009 nebyly hodnoty chemického složení tak reprodukovatelné jako v roce 2013. V roce 2009 se vyskytují i extrémní hodnoty (vzorek č.3, 4, 8, 14). U vzorku č. 3 bylo nutné dolegovat Si, u vzorků 4, 8, 14 bylo nutné tavbu naředit čistým Al. V roce 2009 byly odchylky chemického složení způsobeny obtížně zvládnutelným způsobem ošetření taveniny.

V roce 2013 byly veškeré hodnoty chemického složení v rozmezích daných normou.

### 10.3 Mechanické hodnoty (tvrdost, pevnost) a jejich statistické šetření

Tab. 6 – Hodnoty tvrdosti a pevnosti

MECHANICKÉ VLASTNOSTI					
2009			2013		
vzorek	tvrdost [HB]	pevnost [MPa]	vzorek	tvrdost [HB]	pevnost [MPa]
1	92	272	1	101	267
2	93	266	2	98	264
3	84	161	3	104	273
4	110	288	4	105	279
5	93	269	5	102	269
6	94	267	6	100	267
7	104	272	7	103	271
8	111	299	8	99	262
9	93	264	9	108	284
10	92	262	10	107	286
11	98	271	11	111	286
12	93	269	12	98	263
13	94	268	13	100	273
14	117	302	14	96	264
15	98	281	15	95	262
16	104	269	16	102	286
17	103	273	17	104	273
18	96	284	18	106	288
19	92	266	19	96	269
20	91	260	20	92	261
			21	97	278
			22	94	262
			23	95	260
			24	91	261
<b>průměr</b>	<b>97,60</b>	<b>268,15</b>	<b>průměr</b>	<b>100,17</b>	<b>271,17</b>
<b>medián</b>	<b>94,00</b>	<b>269,00</b>	<b>medián</b>	<b>100,00</b>	<b>269,00</b>
<b>max</b>	<b>117,00</b>	<b>302,00</b>	<b>max</b>	<b>111,00</b>	<b>288,00</b>
<b>min</b>	<b>84,00</b>	<b>161,00</b>	<b>min</b>	<b>91,00</b>	<b>260,00</b>
<b>modus</b>	<b>93</b>	<b>269</b>	<b>modus</b>	<b>98</b>	<b>273</b>
<b>sm. odch.</b>	<b>7,9272</b>	<b>27,0042</b>	<b>sm. odch.</b>	<b>5,1045</b>	<b>9,1818</b>



Obr. 19 – Třací stroj (vlevo) a tvrdoměr (vpravo)

Ze statistických šetření mechanických hodnot tvrdosti dle Brinella a pevnosti ve srovnatelných obdobích roku 2009 a 2013 vyplývá že:

- průměr u tvrdosti je nepatrně vyšší o 2,57 HB, pevnost o 3,02 MPa než v roce 2009,
- medián u tvrdosti je vyšší o 6 HB, pevnost se nezměnila,
- maximum tvrdosti se snížilo o 6 HB, pevnost o 14 MPa,
- minimum tvrdosti se zvýšilo o 7 HB, pevnost o 99 MPa,
- modus u tvrdosti se zvýšil o 5 HB, pevnost o 4 MPa,
- směrodatná odchylka u tvrdosti se snížila o 2,82 HB, u pevnosti o 17,82 MPa.

Všechny hodnoty statistického šetření dokazují, že v roce 2009 jsou hodnoty tvrdosti a pevnosti nižší. Tato okolnost je obdobná jako u DI.

K výpočtu průměrů, stejně jako všech ostatních hodnot, byl využit kalkulátor excel.

## 11. Závěry a doporučení

V teoretické části této Bakalářské práce jsou popsány metody odplynění slitin hliníku, především stávající a novou metodou, používanou ve společnosti.

V praktické části jsou provedeny experimenty k porovnání vlivů kvality odplynění jako součásti ošetření taveniny. Chemické složení statistického souboru je konfrontováno s indexem hustoty a mechanickými hodnotami.

Údaje z roku 2009 jsou získány ze souborů dat ve srovnatelném období (březen 2009 a březen 2013). Hodnoty z roku 2013 byly zjištěny sledováním současných parametrů při procesu tavení a ošetření taveniny.

Rovněž mechanické vlastnosti jsou přiřazeny k souboru hodnot chemického složení.

Kvalita ošetření taveniny je dokumentována typickými metalografickými výbrusy z provozních odlitků (licí struktura, ošetřená struktura).

Výsledky experimentů jsou statisticky vyhodnoceny.

**Porovnáním starého a nového procesu je prokázáno, že použití nového postupu odplynění zlepšilo jak hodnoty indexu hustoty (obsah plynů a vměstků) tak mechanické hodnoty (tvrdost, pevnost).**

Udržitelnost společnosti na trhu je dána i schopností plnit náročnější požadavky odběratelů a zařízení FDU těmito vzrůstajícím nárokům napomohlo.

Z prováděných experimentů této Bakalářské práce vyplývá, že:

- Po natavení není ihned provedena analýza chemického složení. Tuto analýzu považuji za nezbytnou pro korektní uvolnění tavby pro odlévání.
- Teprve po případné korekci chemického složení (doředění, dolegování) by mělo být provedeno ošetření taveniny.



Pro rychlé prověření kvality modifikace a očkování se nabízí použití termické analýzy [3], která není v současnosti na tavírně společnosti využívána. Použití termické analýzy považuji za důležité zejména proto, že by proces ošetření taveniny byl ukončen s jistotou, že tekutý kov má požadované parametry (modifikace a očkování).

Dalším zlepšením procesu ošetření taveniny by bylo řízení odplynění nejen na základě teploty okolí, ale i na základě měření vlhkosti na pracovišti tavírny. V literatuře je uvedeno, že vzdušná vlhkost může ovlivnit hodnotu indexu hustoty (naplyněnost).

## 12. Seznam použitých zdrojů a literatury

- [1] NĚMEC, M., PROVAZNÍK, J.: *Slévárenské slitiny neželezných kovů*. Vydavatelství ČVUT, Praha: 2008. 137 s. ISBN 978-80-01-04116-1
- [2] Ptáček, L., a kol.: *Nauka o materiálu II*. Akademické nakladatelství CERM, Brno: 2002. 392 s. ISBN 80-7204-248-3
- [3] ROUČKA, J.: *Metalurgie neželezných slitin*. Akademické nakladatelství CERM, Brno: 2004. 148 s. ISBN 80-214-2790-6
- [4] NĚMEC, M., BEDNÁŘ, B., STUNOVÁ, B.: *Teorie slévání*. Nakladatelství ČVUT, Praha: 2009. 218 s. ISBN 978-80-01-04395-0
- [5] MORAVEC Lukáš: *Výroba odlitků ze slitin hliníku*. Brno: bakalářská práce 2012
- [6] MICHNA, Š., LUKÁČ, I., OČENÁŠEK, V., *Encyklopedie hliníku*. I. Vyd. Děčín: ALCAN, 2005. 700 s. ISBN 80-89041-88-4
- [7] NOVÁ, I., *Teorie slévání II*. Vydavatelství Technická univerzita v Liberci, Liberec: 2007. 169 s. ISBN 978-80-7372-185-5